DIE GEBÄUDEHÜLLE ALS AKTIVES BAUTEIL: OPTIMIERUNG DER INTERAKTION VON GEBÄUDETECHNIK UND SONNENSCHUTZSTEUERUNG

Carina Sagerschnig, Axel Seerig, Christian Dietrich
Gruner AG, Gellertstrasse 55, 4020 Basel, Schweiz

KURZFASSUNG

In vielen Gebäuden ist die Sonnenschutzsteuerung bereits automatisiert und in die Gebäudeleittechnik eingebunden. Eine Interaktion mit den gebäudetechnischen Anlagen für Heizung und Kühlung und eine Abstimmung des Sonnenschutzbetriebs auf den aktuellen Anlagenbetriebs des Gebäudes sind jedoch in den seltensten Fällen gegeben. Ein vollautomatisierter, den äußeren und inneren Gegebenheiten angepasster Sonnenschutz macht die Fassade zu einem aktiven Bauteil, das Energie und Behaglichkeit im Raum kontrolliert mit beeinflusst.

Im vorliegenden Artikel wird eine Steuerungsstrategie für Raffstoren unter Einbeziehung von Anlagenbetriebssignalen für Heizung und Kühlung sowie der Raumbelegung vorgestellt. Mit Hilfe eines Gebäude- und Anlagenmodells werden die Einflüsse der Sonnenschutzsteuerung auf den Heiz-, Kühl- und Beleuchtungsenergiebedarf aufgezeigt. Bei gleich bleibendem Komfort können Energieeinsparpotenziale bis zu 30% für Heiz- und Kühlenergie erzielt werden.

ABSTRACT

In many buildings, the sun protection control system is already automated and integrated with the building automation system. An active interaction, however, with the building's heating and cooling systems, and a complementing sun protection control system for the current energy demands of the building are present only in the rarest of cases.

A fully automated sun protection system, considering external and internal conditions, makes the facade an active building component, which also controls and influences energy use and comfort.

In this article, control strategies for blinds, taking into account the heating and cooling plant and the room occupancy will be presented. The influence of these integrated control strategies on heating, cooling and lighting energy demand is shown through simulation models. While ensuring the same comfort levels, energy savings of up to 30% are shown to be possible for heating and cooling.

STATE-OF-THE-ART SONNENSCHUTZSTEUERUNG

Die thermische Behaglichkeit und der Energiebedarf, insbesondere von hoch verglasten Gebäuden werden massgeblich durch die Qualität der Fassade beeinflusst. Nicht nur bauphysikalische Eigenschaften, sondern auch die Art und Weise der "Betriebsführung der Fassade" spielen eine entscheidende Rolle. Insbesondere der Betrieb und die Bedienung von Sonnenschutzeinrichtungen können das Raumklima massgeblich beeinflussen.

In Abhängigkeit der gewünschten Anforderungen an den Sonnenschutz werden heute vielfältige Steuerungsmöglichkeiten von Systemherstellern angeboten und umgesetzt, welche vorwiegend äussere Führungsgrössen (z. B. Niederschlag, Wind, Sonneneinstrahlung) berücksichtigen.

Diente der Sonnenschutz früher primär dem Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung und Blendung, übernimmt er heute durch die Einbeziehung in die Raumautomation weiter reichende Aufgaben, um das Raumklima zu verbessern.

So werden zum Beispiel Lamellennachführungen bei Raffstoren zur Optimierung der Tageslichtnutzung und/oder der Verbesserung des sommerlichen Verhaltens in den betreffenden Zonen realisiert. Zudem werden vermehrt Verschattungseinflüsse in urbaner Lage in eine Sonnenschutzsteuerung implementiert. Die Fassade wird damit zunehmend ein integraler Bestandteil der Gebäudetechnik.

Ein Schwerpunkt der aktuellen Forschung und Entwicklungen in der Sonnenschutzsteuerung liegt auf der Verbesserung der Tageslichtnutzung und des visuellen Komforts (Wienold, 2007), bzw. der Minimierung von künstlicher Beleuchtung (Mahdavi et al., 2007). Untersuchungen zur Optimierung des Lamellenanstellwinkels finden sich u. a. bei Deuk-Woo Kim (2009) und Kuhn et. al. (2003).

Für die Sonnenschutzsteuerung wird meist die solare Einstrahlung auf die Fassade, beispielsweise in Form von Helligkeitssensoren, als Führungsgrösse berücksichtigt. Umfangreiche Untersuchungen zum energetischen Verhalten dieser Art von Sonnen-

schutzsteuerung wurden von de Boer (2006) durchgeführt.

Die Steuerung nach äusseren Einflüssen muss jedoch nicht den tatsächlichen Lastverhältnissen im Gebäude und den Möglichkeiten der gebäudetechnischen Anlagen entsprechen. So können z. B. bei einer Steuerung in Abhängigkeit der solaren Einstrahlung im Winter durchaus erwünschte solare Gewinne nicht genutzt werden.

Um den Sonnenschutz sowohl zur aktiven Unterstützung des Kühl- als auch des Heizbetriebes einsetzen zu können, ist die Kenntnis über die Betriebsweise der Heiz- und Kühlanlagen für die Sonnenschutzsteuerung notwendig.

SONNENSCHUTZSTEUERUNG IN INTERAKTION MIT HEIZ- UND KÜHLANLAGEN

Ziel der Anwendung einer integrierten Storensteuerung ist die Verringerung des Endenergiebedarfs für Heizung, Kühlung und Beleuchtung bei möglichst geringen Anstellwinkeln, um die Tageslichtnutzung zu maximieren.

Das Ablaufdiagramm einer Raffstorensteuerung, die sich sowohl für den sommerlichen als auch den winterlichen Wärmeschutz eignet, wird in Abbildung 2 dargestellt. Diese Steuerung für die Heiz- und Kühlunterstützung basiert auf aktuellen Betriebszuständen der Heiz- und Kühlanlagen sowie der solaren Einstrahlung auf die Fassade.

Die Heiz- und Kühlanlagen werden über Anlagenbetriebssignale (On/Off) in die Storensteuerung eingebunden. Nur wenn weder Heizung noch Kühlung aktiv sind, erfolgt die Steuerung ausschliesslich über die solare Einstrahlung auf die Fassade.

Im Heizfall können über einen Schwellwert für die solare Einstrahlung die solaren Gewinne bewertet und durch ein Öffnen der Storen genutzt werden. Sind keine Personen anwesend und die solaren Gewinne niedrig, werden die Storen vollständig geschlossen, um den Wärmeschutz zu erhöhen.

Im Kühlfall werden die Storen in Abhängigkeit von Personenanwesenheit bei hoher solarer Einstrahlung entweder in einem für die Tageslichtnutzung optimalen Anstellwinkel oder vollständig geschlossen. Nachts werden die Storen geöffnet um eine Auskühlung der Fassade zu ermöglichen.

Optional kann für Anlagen, welche einen FreeCooling-Betrieb ermöglichen, ein FreeCooling-Modus integriert werden. Dies ermöglicht eine Flexibilisierung des Sonnenschutzbetriebs indem variable Schwellwerte für die solare Einstrahlung eingesetzt werden können.

Im FreeCooling-Betrieb der Anlagen ist der Endenergiebedarf der Kühlung geringer. Um die Tageslichtnutzung zu maximieren und den Aussenbezug (Durchsicht) für die Nutzer zu erhöhen, kann ein verzögerter Storenbetrieb (d.h. bei höherer solarer Einstrahlung auf die Fassade) ermöglicht werden. Dies setzt voraus, dass für den Blendschutz ein unabhängiges System eingesetzt wird.

Die in diesem Artikel vorgestellte integrierte Storensteuerung wurde in Verbindung mit zwei verschiedenen Methoden zur Ermittlung der Lamellenanstellwinkel untersucht.

Die CutOff-Strategie (Abbildung 1, links) verfolgt den Ansatz, den Innenraum vor direkter, solarer Einstrahlung zu schützen und die Tageslichtnutzung zu maximieren. Die Lamellen werden dabei so nachgeführt, dass gerade keine direkte Strahlung in den Raum tritt. Zur Kühlunterstützung wird das Öffnen des Sonnenschutzes über den CutOff-Winkel hinaus gesperrt.

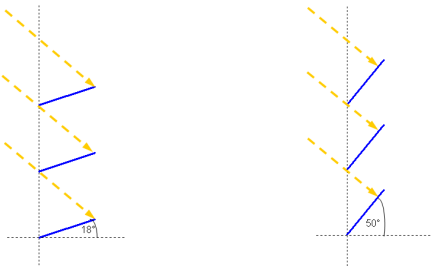

Abbildung 1: Steuerungsstrategien für Lamellenanstellwinkel zur Blockierung direkter solarer Einstrahlung bei gleichem Einfallswinkel

Die Retro-Reflexion-Strategie verhindert ebenfalls die direkte Einstrahlung in den Raum (Leidenroth et. al., 2003). Bei dieser Strategie wird die Sonneneinstrahlung durch eine Lamellenstellung im 90°-Winkel zur Einstrahlung direkt nach aussen reflektiert (Abbildung 1, rechts). Die Möglichkeiten der Tageslichtnutzung sind im Vergleich zur CutOff-Strategie eingeschränkter, da die Lamellen steiler angestellt werden.

Bei der in Abbildung 2 dargestellten Storensteuerung hängt die Wahl der Lamellenanstellwinkel von der Raumbelegung ab. Sind Personen im Raum, kommt die CutOff- oder Retro-Reflexion-Strategie zum Einsatz. In nicht belegten Räumen können die Storen vollständig geschlossen werden, da es keine Anforderungen an die Tageslichtnutzung gibt.

Die vorgestellte Storensteuerung basiert auf dem aktuellen Kühl- oder Heizbetrieb. Eine alternative Sonnenschutzsteuerung in Abhängigkeit historischer Betriebszustände der Heiz- und Kühlanlagen wird von Gwerder et. al. (2005) beschrieben.

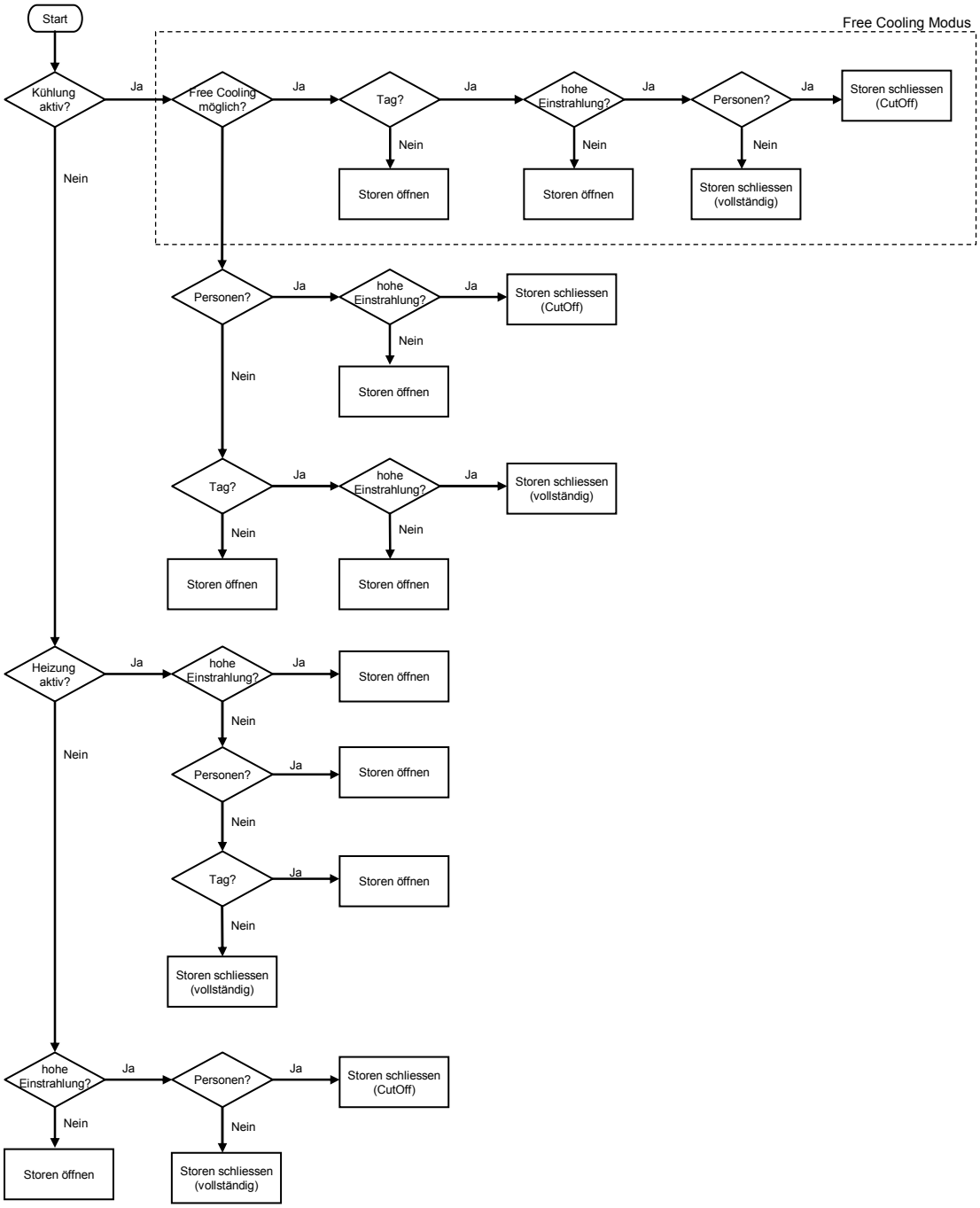

Abbildung 2: Ablaufdiagramm für eine integrierte Storensteuerung unter Berücksichtigung des Heiz-/Kühlanlagenbetriebs sowie eines optionalen FreeCooling-Betriebs der Kühlanlagen

SIMULATIONSMODELL

Die in Abbildung 2 beschriebene Storensteuerung wurde im Rahmen von Simulationen getestet und für den Praxiseinsatz optimiert.

Es wurde eine Bürozone in schwerer Bauweise mit Glasanteil von ca. 50% auf der Südfassade mit dem Simulationsprogramm EnergyPlus 4.0 untersucht. Die Gebäudenutzung orientiert sich an den Standard-nutzungsbedingungen für Bürogebäude nach der Schweizer Norm SIA 2024. Für die Simulationen wurde der DRY Klimadatensatz nach SIA 2028 für Basel verwendet.

Die Energieversorgung erfolgt über eine umschaltbare Kältemaschine / Wärmepumpe. Das Kriterium für die Bewertung des Energiebedarfs ist der Endenergiebedarf an Strom für Heizung, Kühlung und Beleuchtung. Für die Berechnung des Endenergiebedarfs wurde ein COP von 3.0 für Kälte bzw. ein COP von 4.0 für Wärme zugrunde gelegt.

Neben dem Endenergiebedarf kann die Schalthäufigkeit der Storen, d.h. die Betriebszeit während der Anwesenheit von Personen, als Kriterium für den Aussenbezug der Personen herangezogen werden.

Das Gebäude besitzt eine 2-fach Isolierverglasung (U-Wert = 1.4 W/m^{2}K, g = 0.60) sowie aussen-liegende, helle Raffstoren mit einem Strahlungs-reflexionsgrad von 50% (z. B. Fabrikat: Warema, Typ: 80 AF, g_{tot} = 0.10).

LAMELLENANSTELLWINKEL UND SOLARE EINSTRAHLUNG

Für die Untersuchungen wurden sowohl konstante Lamellenanstellwinkel als auch die CutOff- und die Retro-Reflexion-Strategie im Simulationsmodell umgesetzt. Die Berechnung der CutOff-Anstellwinkel erfolgte nach Honma (2009).

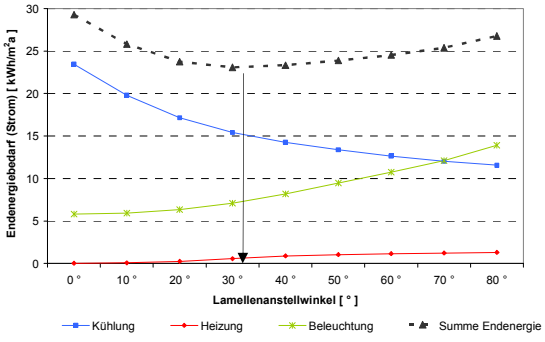

Abbildung 3: Endenergiebedarf bei verschiedenen, konstanten Lamellenanstellwinkeln

Bei konstanten Lamellenanstellwinkeln sinkt der Kühlenergiebedarf je steiler die Lamellen gestellt werden. Gleichzeitig steigt jedoch der Energiebedarf der künstlichen Beleuchtung. Bei einem Schaltpunkt der Storen von 150 W/m^2 solarer Einstrahlung auf die Fassade ergibt sich ein minimaler Endenergiebedarf bei einem Anstellwinkel von ca. 30° bis 40° (Abbildung 3).

Für den Vergleich der CutOff- bzw. Retro-Reflexion-Strategie wurden Storen mit einem Anstellwinkel von 40° und einem Schaltpunkt von 150 W/m^2 Globalstrahlung auf die Fassade ausgewählt.

Die Auswahl des Schaltpunkts erfolgte auf Basis einer Parameterstudie zum Endenergiebedarf für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in Abhängigkeit des Storenschaltpunkts (Abbildung 4).

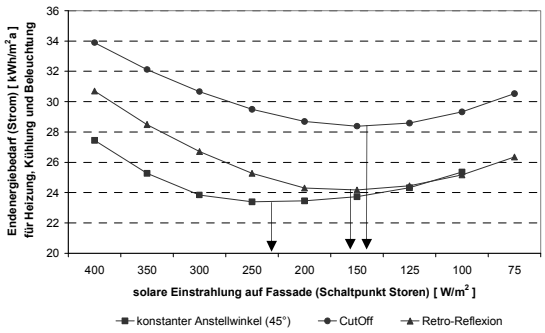

Abbildung 4: Endenergiebedarf für verschiedene Lamellenanstellwinkel-Strategien in Abhängigkeit des Schaltpunkts der Storen

ENERGIEEINSPARUNGSPOTENTIAL DER INTEGRIERTEN STORENSTEUERUNG

Der Endenergiebedarf in Abhängigkeit der Storensteuerung ist in Abbildung 6 dargestellt. Erfolgt die Steuerung der Raffstoren ausschliesslich an Hand der Einstrahlung, ist bei gleichen Komfortanforderungen der gesamte Endenergie-bedarf der CutOff-Strategie um ca. 22% höher als bei einem konstantem Anstellwinkel von 40°. Der Beleuchtungsenergiebedarf sinkt im CutOff-Betrieb um rund 9% im Vergleich zum Konstantwinkel.

Wird zusätzlich zur Steuerung nach äusseren Einflüssen die oben beschriebene Integration von Betriebssignalen zum Heiz- und Kühlbetrieb eingesetzt, kann – bei gleich bleibendem Komfort – der Heizenergiebedarf bei CutOff-Steuerung um ca. 30% reduziert werden, während der Endenergiebedarf für Kühlung um ca. 15% verringert wird (im Vergleich zu einer CutOff-Strategie ohne Integration von Anlagenbetriebssignalen).

Die Nutzung niedrigerer Aussentemperaturen bzw. Aussenenthalpien für den FreeCooling-Betrieb der Kältemaschine ermöglicht eine Flexibilisierung des Sonnenschutzes (FreeCooling-Modus).

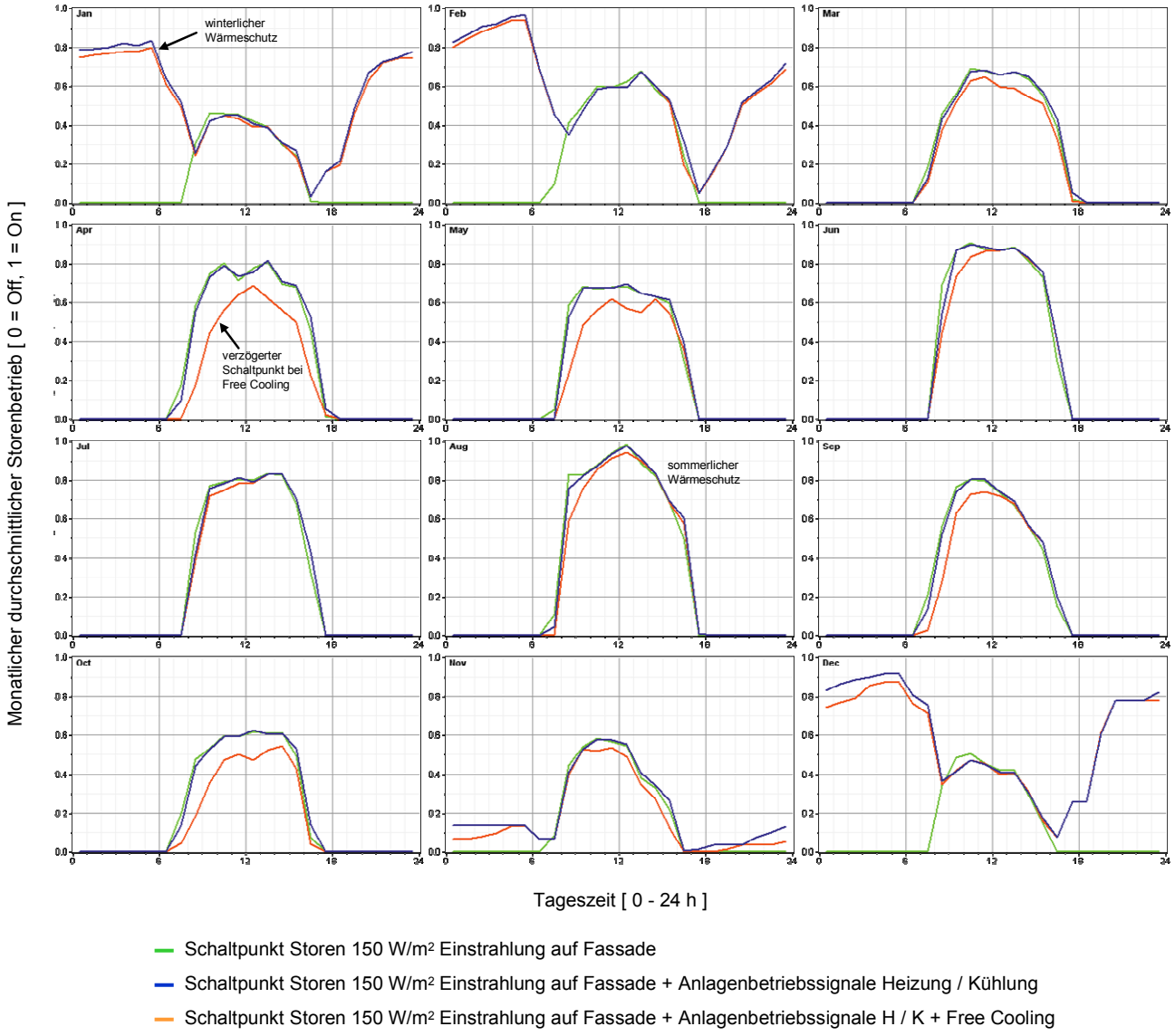

Abbildung 5: Monatlicher durchschnittlicher Betrieb der Storen während eines Tages für verschiedene Steuerungsstrategien der 'CufOff'-Lamellenansteuerung

Im FreeCooling-Betrieb wird der Schwellwert der äusseren Einstrahlung auf die Fassade von 150 auf 300 W/m^2 erhöht. Der Nutzenergiebedarf für Kühlung steigt dadurch um ca. 8%, wobei die Leistungsspitze unverändert bleibt.

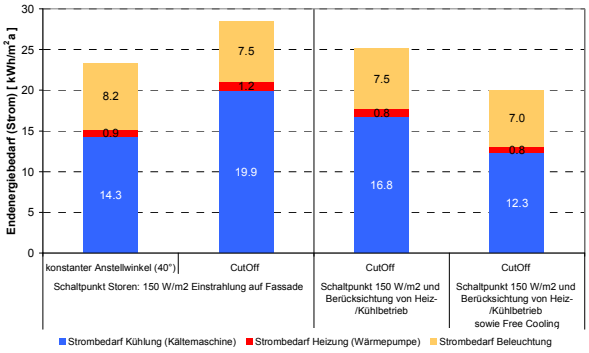

Abbildung 6: Endenergiebedarf der CutOff-Steuerung unter Einbeziehung des Kühl- und Heizbetriebes sowie von FreeCooling

Ist FreeCooling möglich, kann auf den Betrieb der Kältemaschine verzichtet werden. Der Endenergiebedarf für Kühlung sinkt daher um ca. 27%. Der gesamte Endenergiebedarf für Heizung, Kühlung und Beleuchtung sinkt um ca. 30% (CutOff nur nach Einstrahlung) bzw. 20% (CutOff-Strategie mit Integration von Anlagenbetriebssignalen).

Die Betriebszeit der Storen sinkt bei der Integration von Anlagenbetriebssignalen von 1.523 h/a während der Bürozeiten geringfügig auf 1.491 h/a. Bei zusätzlicher Berücksichtigung des FreeCooling-Betriebs sinken die Storenbetriebszeiten hingegen auf 1.319 h/a auf Grund des verzögerten Schaltpunkts.

In Abbildung 5 sind die durchschnittlichen täglichen Betriebsverläufe der Storen der einzelnen Monate dargestellt. Bei der Anlagen-integrierenden Steuerung sind in den Wintermonaten die Storen nachts geschlossen.

In den Übergangszeiten, wenn Kühllasten bei niedrigen Aussentemperaturen auftreten und FreeCooling möglich ist, kann der Storenbetrieb verzögert werden. In den Sommermonaten Juli und August zeigen sich keine Unterschiede im Storenbetrieb, da hier zumeist die äussere solare Einstrahlung ausschlaggebend ist.

Abbildung 7 stellt die Ergebnisse der integrierten Sonnenschutzsteuerung für einen Konstantwinkel (40°), die CutOff-Strategie sowie die Retro-Reflexion-Strategie gegenüber. Auf Grund der durchwegs steiler angestellten Winkel ist der Kühlenergiebedarf der Retro-Reflexion-Strategie jeweils geringer als jener der CutOff-Strategie.

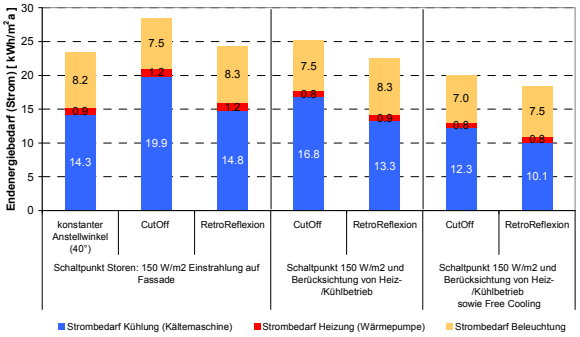

Abbildung 7: Vergleich der CutOff und Retro-Reflexion Steuerung

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Es wurde eine Storensteuerung vorgestellt, die Anlagenbetriebssignale (On / Off) integriert. Dies ermöglicht Raffstoren sowohl zur Kühlungs- als auch zur Heizungsunterstützung einzusetzen.

Eine Flexibilisierung des Sonnenschutzbetriebs ist weiters möglich, wenn zusätzlich Informationen über die Art des Anlagenbetriebs für die Sonnenschutzsteuerung zur Verfügung stehen. In diesem Beitrag wurde der Einsatz von FreeCooling der Kältemaschine untersucht.

Es wurde gezeigt, dass der zusätzliche Kühlenergiebedarf der sich aus einem Kompromiss aus Tageslichtnutzung und sommerlichem Wärmeschutz ergibt (z. B. durch Einsatz der CutOff-Strategie mit nicht vollständig geschlossenen Lamellen), durch die Integration von Anlagenbetriebssignalen wieder reduziert werden kann - wobei auf die Tageslichtnutzung und den erhöhten Aussenbezug nicht verzichtet werden muss.

Die vorgestellte Storensteuerung wird zurzeit für die Implementierung in einem Büroturm vorbereitet. Die Autoren sehen weitere Entwicklungsmöglichkeiten in der Kombination mit Beleuchtungssensoren im Innenraum, um die Tageslichtnutzung weiter zu optimieren.

Ebenfalls sinnvoll erscheint eine Integration von Wetterprognosen sowohl für die Heizungsunterstützung (Vermeidung der Nachtauskühlung) als auch zur Kühlunterstützung. Untersuchungen werden hierzu u. a. im Rahmen des OptiControl-Projekts (Gyalistras et al., 2009) durchgeführt.

LITERATUR

de Boer J.: Lichttechnisches und energetisches Verhalten von Fassaden moderner Verwaltungsbauten, Bauphysik 28, pp. 27-44 und pp. 103-110, 2006.

Deuk-Woo Kim, Cheol-Soo Park: Manual Vs. Optimal Control of Exterior And Interior Blind Systems, Proceedings of 11th International IBPSA Conference, p. 1663-1670, Glasgow 2009

EnergyPlus: Building Energy Performance Simulation Tool, www.energyplus.gov, 2010

Gwerder M., Tödtli J.: Predictive Control For Integrated Room Automation, Proceedings of 8th REHVA World Congress for Building Technologoies - CLIMA 2005, Lausanne 2005

Gyalistras, D., Gwerder, M. (Eds.): Use of weather and occupancy forecasts for optimal building climate control (OptiControl): Two Years Progress Report. Terrestrial Systems Ecology ETH Zurich, Switzerland and Building Technologies Division, Siemens Switzerland Ltd., Zug, Switzerland, 2009

Honma M., Kawase T., Yoneda S.: Judgement On The Presence Of Direct Sunlight For Blind Slat Angle Control Systems, Proceedings of 11th International IBPSA Conference, p. 2146-2153, Glasgow 2009

Kuhn T., Wienold J.: Regelstrategien zur simultanen Optimierung von Sonnenschutz, Blendschutz und Tageslichtversorgung, 9. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Staffelstein/ Deutschland 2003

Leidenroth H., Imhoff T.: Sonnenschutz mit Rechenpower, Produktinformation 24.09.2003, http://www.leitech.de/pdf/sonnenschutz-mit-rechenpower.pdf?PHPSESSID=02f0c3dd879a3dbc527374a756e6f33f, Zugriff 03.06.2010

Mahdavi A., Spasojevic B.: Incorporating Simulation Into Building Systems Control Logic, Proceedings of 10th International IBPSA Conference, p. 1175-1181, Beijing 2007

SIA Merkblatt 2024: Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, SIA 2006

SIA Merkblatt 2028: Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik, SIA 2008

Warema Raffstoren, Produktinformation 2010, www.warema.ch

Wienold J.: Dynamic Simulation Of Blind Control Strategies For Visual Comfort And Energy Balance Analysis, Proceedings of 10th International IBPSA Conference, p. 1197-1204, Beijing 2007